



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA ESPAÑA
UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO MÉXICO
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO MÉXICO

**ANÁLISIS DE SISTEMAS DE CONVECCIÓN EN EL
TRATAMIENTO TÉRMICO DE SUELOS O SUSTRATOS
AGRÍCOLAS PARA SU DESINFECCIÓN EN CONTINUO**

DOCTORANDO: Noel Chávez Aguilera

DIRECTOR: Dr Borja Velázquez Martí

Julio de 2015

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis ha sido el esfuerzo de varias personas y universidades, lo cual demuestra lo afortunado que he sido en el proceso de formación académica y profesional para hacerme una persona de bien y útil a la sociedad.

En primer lugar quiero manifestar mi más sincero agradecimiento al Dr. Borja Velázquez Martí y al Dr. Carlos Gracia López quienes me han abierto la puerta al mundo de la investigación con su esfuerzo, dedicación, motivación, conocimientos, sabiduría, guía, apoyo, dirección y paciencia durante la ejecución, desarrollo y terminación de este trabajo de investigación, lo cual sin lugar a duda me ha enriquecido profesionalmente y sobre todo ayudado a crecer como persona.

Quiero agradecer a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA, ESPAÑA; A LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO, MÉXICO (UACH) Y A LA UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO, MÉXICO** por ser instituciones de educación pública superior que me han brindado apoyo y la oportunidad para realizar mis estudios de doctorado.

Agradezco a los profesores del programa de Doctorado en Mecanización y Tecnología de Invernaderos del Departamento de Ingeniería Rural y Agroalimentaria de la Universidad Politécnica de Valencia, España, en el marco del cual he realizado mis estudios de doctorado y la presente tesis doctoral.

Quiero agradecer también al Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la UACH, México, por apoyarme con sus laboratorios y talleres y, brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de doctorado. Al Departamento de Parasitología Agrícola de la UACH, México, por apoyarme con su laboratorio de Micología durante la verificación de la efectividad de los equipos para desinfección de suelos y equipos agrícolas.

Agradezco a los estudiantes del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola de la UACH, quienes realizaron su trabajo de investigación (Tesis) en la verificación técnica de los equipos diseñados y construidos para desinfección de suelos y sustratos agrícolas, actualmente Ingenieros Mecánicos Agrícolas, por su dedicación y aporte a presente tesis.

Finalmente, pero no menos importante, agradezco a **mis padres:** Ernesto Chávez Aburto y Juana Aguilera Hurtado (finada), quienes han sido pilares

en mi vida y, a **mi familia:** Josefina López Zavala (Esposa) quien con su preparación académica, no sólo, me ha apoyado en lo moral, sino que, también en una orientación técnica durante el desarrollo de mi tesis; a Noel Chávez López (hijo) y a Josefina Chávez López (hija) quienes junto con mi esposa me han impulsado a conseguir sueños, a pesar de que ello signifique soportar mi ausencia.

RESUMEN

En este trabajo se ha desarrollado un modelo de cálculo para el diseño de intercambiadores de calor de cilindros concéntricos para desinfección de suelos y sustratos agrícolas en continuo. Para ello se considera el sustrato agrícola como un fluido que circula por el cilindro central accionado por un tornillo sinfín; por la corona exterior circula un caloportador que cede el calor al sustrato a desinfectar, por lo que el sistema de transmisión es convectivo. Para el dimensionado del dispositivo se han analizado las propiedades termodinámicas de dos tipos de sustratos agrícolas: un sustrato telzone rojo y un sustrato peat moss. De cada uno de ellos se calculó la densidad con medias de $1169,603 \text{ kg m}^{-3}$ y $300,23 \text{ kg m}^{-3}$; calor específico ($3,4 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ y $4,1 \text{ MJ m}^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$); conductividad térmica ($9,97 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$ y $8,6 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$) y difusividad térmica ($2,73 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$, y $2,45 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$) respectivamente. Se analizó la influencia de la humedad y la compactación en estos parámetros. Por otra parte se ha analizado el sistema de convección de tres caloportadores: agua caliente, vapor de agua y aire caliente. De cada uno de ellos se determinó el coeficiente de transmisión de calor del sistema en función de la humedad y velocidad de circulación del sustrato. Se ha construido un dispositivo para la validación de los cálculos. Los coeficientes de película de los sustratos probados, con aplicación de aire caliente, son: $0,73 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ y $0,65 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ para telzone rojo y peat moss respectivamente. Los ensayos de desinfección sobre ambos sustratos infectados con hongo *Fusarium oxysporum lycopersici*, eliminaron prácticamente el 100% de las colonias. Tras la desinfección, plantas de jimote rojo (*Solanum lycopersicon*, L.) fueron cultivadas sobre los sustratos tratados y no desarrollaron afecciones.

Palabras clave: Desinfección de sustratos agrícolas, método físico, intercambiador de calor, tecnología de invernaderos

Este trabajo de investigación fue realizado entre la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España y la Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México. Fue desarrollado en los talleres y laboratorios del Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola y el Departamento de Parasitología Agrícola, ambos departamentos, de la UACH.

ABSTRACT

In this work, a model of calculation for the design of cylindrical heat exchangers was developed for disinfection of soils and agricultural substrates in continuous. For this purpose, the ground is considered as a fluid, flowing through the central cylinder driven by a screw; though outer ring circulates a heat carrier which transfers heat to the agricultural substrate for its disinfection, so that the transmission system is convective. For the dimensioning of the device thermodynamic properties of two types of agricultural substrates have been analyzed: a substrate red telzone and a substrate peat moss. Of each, density was calculated with averages $1169.603 \text{ kgm}^{-3}$ and 300.23 kgm^{-3} respectively), specific heat ($3.4 \text{ MJm}^{-3}\text{C}^{-1}$ - $4.2 \text{ MJm}^{-3}\text{C}^{-1}$), thermal conductivity ($9.97 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$ and $8.6 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$) and thermal diffusivity ($2.73 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ and $2.45 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$) respectively. The influence of moisture and compaction in these parameters are analyzed. Furthermore we analyzed the convection system by three heat transfer: hot water, steam and hot air. Global transmission coefficient of the system was determined for each heat transfer, depending on the soil moisture content and velocity. A device has been built for the validation of the calculations. The heat transfer coefficient or film coefficient of the tested substrates, with the application of hot air, are: $0.73 \text{ J m}^{-2}\text{s}^{-1}$ and $0.65 \text{ Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$ for red telzone and peat moss respectively. The testing of disinfection on a substrate red tezontle and substrate peat moss infected with fungus *Fusarium oxysporum lycopersici*, eliminated almost 100% of the colonies. After the disinfection jimsonite red plants (*Solanum Lycopersicon*, L.) were grown on the substrates treated and not developed affections.

Key words: Disinfection of agricultural substrates, physics method, greenhouse technology, heat exchanger.

This research work was carried out between the two institutions Polytechnic University of Valencia (UPV), Spain and the Autonomous University Chapingo (UACH), Chapingo, Mexico. It was developed in the workshops and laboratories of the Department of Agricultural Mechanical Engineering and Agricultural and, the Department of Agricultural Parasitology, both departments of the UACH.

RESUM

En aquest treball s'ha desenvolupat un model de càlcul per al disseny d'intercanviadors de calor de cilindres concèntrics per a desinfecció de sòls i substrats agrícoles en continu. Per fer això, es considera el sòl com un fluid que circula per un cilindre central accionat per un cargol sense fi; per la corona exterior circula un caloportador que cedeix la calor al sòl a desinfectar, per la qual cosa el sistema de transmissió és convectiu. Per al dimensionament del dispositiu s'han analitzat les propietats termodinàmiques de dos tipus de substrats: telzone roig i substrat peat moss. De cada un d'ells es va calcular la densitat amb mitjanes de $1169,603 \text{ kg m}^{-3}$ y $300,23 \text{ kg m}^{-3}$; calor específic ($3,4\text{-}4,2 \text{ MJ m}^{-3}\text{C}^{-1}$); conductivitat tèrmica ($9.97 \text{ J m}^{-1}\text{s}^{-1}$ i $8.6 \text{ J m}^{-1}\text{s}^{-1}$) i difusivitat tèrmica ($2.73 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ i $2,45 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$) respectivament. Es va analitzar la influència de la humitat i la compactació en aquests paràmetres. D'altra banda s'ha analitzat el sistema de convecció de tres termòfors: aigua calenta, vapor d'aigua i aire calent. De cada un d'ells es va determinar el coeficient de transmissió de calor del sistema en funció de la humitat i velocitat de circulació del substrat. S'ha construït un dispositiu per a la validació dels càlculs. Els coeficients de pel·lícula en els substrats probats amb aire calent són: $0,73 \text{ Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$ i $0,65 \text{ Jm}^{-2}\text{s}^{-1}$ per a telzone roig i substrat peat moss respectivament. Els assajos de desinfecció sobre un substrat telzone roig i substrat peat moss infectats amb fong *Fusarium oxysporum lycopersici* L. van eliminar pràcticament el 100% de les colònies. Després de la desinfecció plantes de jimote vermell (*Solanum lycopersicon*, L.) van ser cultivades sobre els substrats tractats i no van desenvolupar afeccions.

Paraules clau: Desinfecció de substrats agrícoles, mètode físic, Intercanviador de calor, tecnologia d'hivernacles.

Aquest treball de recerca va ser realitzat entre la Universitat Politècnica de València (UPV), Espanya, i la Universitat Autònoma Chapingo (UACH), Mèxic. Va ser desenvolupat en els tallers i laboratoris del Departament d'Enginyeria Mecànica Agrícola i el Departament de Parasitologia Agrícola, els dos departaments, de la UACH.